

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 329 229 A1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
23.07.2003 Patentblatt 2003/30

(51) Int Cl.7: **A61L 27/12, A61L 27/56**

(21) Anmeldenummer: **03405002.1**

(22) Anmeldetag: **03.01.2003**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PT SE SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO

(30) Priorität: **16.01.2002 DE 10201340**

(71) Anmelder:
• **Blovision Gmbh**
98693 Ilmenau (DE)
• **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER
ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.**
80636 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Leuner, Barbara**
98693 Ilmenau (DE)

• **Reif, Dieter**
98553 Altendammbach (DE)
• **Apel, Hans**
98693 Ilmenau (DE)
• **Heymer, Heike**
01217 Dresden (DE)
• **Standke, Gisela**
01099 Dresden (DE)
• **Adler, Joerg**
01662 Meißen (DE)

(74) Vertreter: **Frel, Alexandra Sarah**
Frel Patentanwaltsbüro
Postfach 768
8029 Zürich (CH)

(54) **Poröses Calciumphosphat-Knochenersatzmaterial**

(57) Schaumkeramiken mit einer hohen, offenen Porosität werden nach dem Schwartzwalder-Verfahren hergestellt, indem ein retikulierter Kunststoffschäum mit einem das Keramikmaterial enthaltenden Schlicker beschlickert wird, indem der beschlickerte Schäum getrocknet, der Kunststoff ausgebrannt und das verbleibende Keramikmaterial gesintert wird. Nach diesem Verfahren hergestellte Schaumkeramiken aus Calciumphosphat können eine Porosität bis zu 90% aufweisen und eignen sich sehr gut als Knochen-Ersatzmaterialien. Sie weisen aber für eine problemlose Handhabung eine zu geringe Festigkeit auf. Diese Festigkeit wird einfach und ohne das Material wesentlich zu ver-

ändern, vergrößert, indem von einem Calciumphosphat-Pulver ausgegangen wird, das vollständig kristallin und phasenrein ist, oder indem von einem Calciumphosphat-Pulver ausgegangen wird, das mindestens mehrheitlich kristallin ist, und der gesinterte Keramikschäum ein zweites Mal mit im wesentlichen demselben Material beschlickert, getrocknet und gesintert wird. Auf beide Arten sind Knochen-Ersatzmaterialien herstellbar mit einer Porosität von mindestens 70Vol.% und einer als Bruchlast ermittelten Festigkeit von mindestens 550 N.

EP 1 329 229 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Knochen-Ersatzmaterial nach dem Oberbegriff des ersten, unabhängigen Patentanspruchs und ein Verfahren zur Herstellung des Knochen-Ersatzmaterials nach dem Oberbegriff des entsprechenden, unabhängigen Patentanspruchs. Das Knochen-Ersatzmaterial ist eine Schaumkeramik aus Calciumphosphat und weist eine hohe, offene Porosität auf.

[0002] Calciumphosphate, insbesondere Calcium-Metaphosphat ($\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$), Di-Calciumphosphat ($\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$), Tri-Calciumphosphat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), Hydroxyapatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$) und Tetra-Calciumphosphat ($\text{Ca}_4(\text{PO}_4)_2\text{O}$) sind als Knochen-Ersatzmaterialien geeignet, insbesondere wegen ihrer hohen biologischen Verträglichkeit, wegen ihrer osteoinduktiven Wirkung und teilweise (Tri-Calciumphosphat) auch wegen ihrer biologischen Abbaubarkeit.

[0003] Versuche haben gezeigt, dass die genannten Calciumphosphate als Knochen-Ersatzmaterialien insbesondere dann geeignet sind, wenn sie eine offen poröse Struktur aufweisen mit Poren, deren Abmessungen $100\mu\text{m}$ nicht unterschreiten und deren Volumen einen Anteil des Gesamtvolumens von mindestens 70% ausmacht. Eine derartige Porosität begünstigt das Einwachsen von nativem Knochengewebe in das Knochen-Ersatzmaterial, was zu einer guten Verbindung zwischen nicht resorbierbarem Ersatzmaterial und Gewebe oder zu einem schnellen und regelmässigen Abbau von resorbierbarem Ersatzmaterial führt.

[0004] Es ist bekannt, dass Schaumkeramiken aus Calciumphosphat, die derartige Porositäten aufweisen und sich deshalb als Knochen-Ersatzmaterialien eignen, nach dem sogenannten Schwartzwalder-Verfahren (US-3090094) herstellbar sind, welches Verfahren ursprünglich zur Herstellung von hitzebeständigen, keramischen Filtermaterialien und Katalysatorträgern entwickelt wurde. Nach diesem Verfahren wird ein retikulierter Kunststoffschaum mit einem Keramik-Schlicker derart getränkt, dass die Schaumstrukturen möglichst vollständig mit Schlicker beschichtet sind, dass aber die Poren der Schaumstruktur nicht mit Schlicker gefüllt sind. Dann wird der beschlickerte Schaum getrocknet und schliesslich einer thermischen Behandlung ausgesetzt, in der zuerst der Kunststoffschaum ausgebrannt und dann das verbleibende Keramikmaterial gesintert wird. Es entsteht dabei eine offenporige Schaumkeramik, die ein Abbild des Kunststoffschaumes darstellt und im wesentlichen aus einem Gerüst von hohlen Stegen mit etwa dreieckigen Querschnitten besteht, wobei die Stege ein Gebilde von im wesentlichen Pentagondodekaeder-förmigen, ineinander übergehenden Hohlräumen bilden.

[0005] Die Porosität einer nach dem Schwartzwalder-Verfahren hergestellten Schaumkeramik ist in weiten Grenzen einstellbar insbesondere durch die Verwendung eines entsprechend porösen Kunststoffschaumes

und durch die Menge an Keramikmaterial, die mit dem Schlicker in den Schaum eingebracht wird.

[0006] Retikulierte Kunststoffschaume, das heisst Kunststoffschaume aus denen zur Herstellung einer offenen Porosität in einer thermischen oder chemischen Nachbehandlung die dünnen Häutchen zwischen den Schaumzellen beseitigt worden sind, eignen sich für die Herstellung von Knochen-Ersatzmaterialien nach dem Schwartzwalder-Verfahren, wenn sie eine Porosität im Bereiche von etwa 45 bis 90 ppi (45-90 Poren pro Inch oder etwa 18 bis 36 Poren pro cm) aufweisen. Dies entspricht einer Porengrösse (Zellweite) von ca. 300 bis $1100\mu\text{m}$. Retikulierte Polyurethanschaume mit der genannten Porosität sind im Handel erhältlich.

[0007] Der Schlicker enthält Calciumphosphat als feines Pulver mit einer Partikelgrösse im Mikrometer-Bereich, welches Pulver in Wasser dispergiert wird. Ferner enthält der Schlicker ein Dispergiermittel und ein Bindemittel und gegebenenfalls weitere Zusätze wie beispielsweise einen Entschäumer. Die Zusammensetzung des Schlickers wird derart eingestellt, dass er strukturviskos (thixotrop) ist und dadurch eine stabile und gleichmässige Beschichtung des Kunststoffschaumes erlaubt.

[0008] Die genaue Zusammensetzung des Schlickers muss für jede Anwendung experimentell ermittelt werden, wobei die folgenden Gesichtspunkte zu beachten sind:

- je weniger viskos und/oder strukturviskos der Schlicker ist, desto weniger Schlicker kann auf den Kunststoffschaum aufgebracht werden;
- Schlicker mit einer zu hohen Viskosität kann nicht befriedigend in den Kunststoffschaum eingebracht werden;
- je mehr Schlicker im Kunststoffschaum vorhanden ist, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass Poren mit Schlicker ganz gefüllt sind;
- je mehr Keramikmaterial im Kunststoffschaum vorhanden ist, desto dicker werden die Steben in der Schaumkeramik und desto mehr Festigkeit erhält dieser;
- je grösser die Keramikpartikel sind, desto mehr Keramikmaterial kann der Schlicker bei gleicher Viskosität enthalten;
- je grösser die Partikel sind, desto weniger werden sie bei der Sinterung miteinander verbunden und desto kleiner ist die Festigkeit der Schaumkeramik;
- je grösser die Partikel sind, desto weniger schwindet die Schaumkeramik bei der Sinterung.

[0009] Je nach Anwendung ist der eine oder der an-

dere Gesichtspunkt wichtig, was sich in der für eine spezifische Anwendung optimalen Zusammensetzung des Schlickers widerspiegelt. Für alle Fälle gilt, dass die Menge an Keramikmaterial, die in den Kunststoffschaum eingebracht werden kann, gegen oben begrenzt ist.

[0010] Der Kunststoffschaum wird mit dem Schlicker getränkt vorteilhafterweise durch mehrmaliges Zusammenpressen und Entspannen des im Schlicker eingetauchten Schaumes, so dass der Schaum möglichst regelmässig benetzt wird. Dann wird überschüssiger Schlicker aus dem Kunststoffschaum entfernt durch Zusammenpressen des Schaumes beispielsweise mit Hilfe von Quetschwalzen oder durch Absaugen des Schlickers aus dem Schaum.

[0011] Die Trocknung des Schaumes erfolgt bei Temperaturen unterhalb der für die Ausbrennung und Sinterung notwendigen Temperaturen, vorzugsweise unter 100°C. Die Ausbrennung wird bei auf den Kunststoff abgestimmten Temperaturen (Polyurethan: bis ca. 600°C) und die Sinterung bei auf das Keramikmaterial abgestimmten Temperaturen durchgeführt.

[0012] Entsprechende Untersuchungen zeigen, dass Keramikschäume, die nach dem Schwarzwälder-Verfahren hergestellt sind, eine Festigkeit aufweisen, die kleiner ist als nach entsprechenden Berechnungen erwartet werden könnte. Es wird vermutet, dass dieses Defizit an Festigkeit mindestens teilweise auf Rissbildung während der thermischen Behandlung zurückzuführen ist, beispielsweise bedingt durch die verschiedenen Wärmeausdehnungen von Kunststoffgerüst und Keramikmaterial, welche Verschiedenheit insbesondere während der ersten Phase der thermischen Behandlung (vor und während dem Ausbrand des Kunststoffschäumers) zu Rissbildung führt. Es scheint, dass diese Rissbildung auch mit sehr sorgfältig durchgeführten thermischen Behandlungen nicht vermieden werden kann.

[0013] Dieser Effekt und die an sich kleine Festigkeit von Calciumphosphaten führen dazu, dass die nach dem Schwarzwälder-Verfahren hergestellten Calciumphosphat-Schäume in Bezug auf ihre chemischen und strukturellen Eigenschaften zwar ausgezeichnete Knochen-Ersatzmaterialien liefern, dass diese Materialien aber wegen ihrer geringen Festigkeit nur an unbelasteten Defektstellen einsetzbar sind und für Knochendefekte in belasteten oder teilbelasteten Regionen nicht verwendet werden können. Ferner sind sie nicht ohne Probleme handhabbar und noch schwieriger oder überhaupt nicht mechanisch bearbeitbar. Aus diesem Grunde müssen Formkörper meist als solche, das heisst unter Verwendung entsprechend geformter Kunststoffschäum-Stücke hergestellt werden, was sehr aufwendig ist. Wenn das Material eine grössere Festigkeit hätte, könnte es universaler eingesetzt werden und könnten Formkörper im Operationssaal durch mechanische Bearbeitung aus grösseren Stücken geformt werden, was eine bedeutend bessere und einfachere Anpas-

sung an zu füllende Defektstellen erlauben würde.

[0014] Für eine Erhöhung der Festigkeit von nach dem Schwarzwälder-Verfahren hergestellten Schaumkeramiken werden verschiedene Massnahmen vorgeschlagen (aus "Processing of Porous Ceramics", J. Saggio-Woyansky et al., American Ceramic Society Bulletin, vol. 71, Nr. 11, Seiten 1674-1682, 1992):

- Zusatz von anorganischen Fasern zum Schlicker;
- Zusatz von Mitteln, die die Struktur des Kunststoffschäumers schon vor dem Ausbrennen teilweise auflösen (Reduktion der Spannungsrisse);
- Vorbehandlung des Kunststoffschäumers mit einem Adhäsiv und organischen Fasern (Erzielung von dickeren Schlicker-Beschichtungen).

[0015] Für die Herstellung von Keramikschäumen, die als Knochen-Ersatzmaterialien verwendet werden sollen, sind die oben genannten Methoden zur Erhöhung der Festigkeit nicht vorteilhaft oder nicht möglich, denn es müssen dem Keramikmaterial weitere Substanzen zugefügt werden, die nicht mit der Anwendung kompatibel und/oder nicht abbaubar sein können oder die zu nicht mit der Anwendung kompatiblen Rückständen führen können.

[0016] Zur Herstellung von als Knochen-Ersatzmaterial verwendbaren, hochporösen Keramikmaterialien mit erhöhten Festigkeiten schlägt die Publikation WO-99/16479 unter anderem vor, nach dem Schwarzwälder-Verfahren eine Schaumkeramik aus Zirkonoxid oder Aluminiumoxid herzustellen und diese dann in einer zweiten Beschlickerung mit einem Calciumphosphat-Schlicker zu beschichten und nochmals einer Trocknung und Sinterung zu unterziehen. Das innere Gerüst aus Zirkon- oder Aluminiumoxid übernimmt dabei die Funktion der Festigkeit, die Calciumphosphat-Beschichtung die Funktion der Osteoinduktivität. Der so hergestellte Schaum weist eine bedeutend höhere Festigkeit auf als vergleichbare Schäume, die nur aus Calciumphosphat bestehen. Andererseits macht das Verfahren aber nur Sinn für nichtabbaubare Calciumphosphate. Vollständig abbaubare Knochen-Ersatzmaterialien sind auf diese Weise nicht herstellbar.

[0017] Die Erfindung stellt sich nun die Aufgabe, als Knochen-Ersatzmaterial verwendbare, im wesentlichen nach dem Schwarzwälder-Verfahren hergestellte Schaumkeramiken aus Calciumphosphat, insbesondere aus biologisch abbaubarem Tri-Calciumphosphat zu schaffen, die eine für die Anwendung geeignete Porosität haben, deren Festigkeit aber gegenüber bekannten derartigen Schaumkeramiken markant erhöht ist. Ferner ist es die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung solcher Schaumkeramiken aus Calciumphosphat anzugeben. Die nach dem erfindungsgemässen Verfahren hergestellten Schaumkeramiken sollen sich insbesondere eignen als Implantate für belaste-

te oder teilbelastete Körperregionen in Form von Formstücken und für eine Herstellung derartiger Formstücke durch mechanische Bearbeitung.

[0018] Diese Aufgabe wird gelöst durch das Knochen-Ersatzmaterial und das Verfahren zu seiner Herstellung, wie sie in den Patentansprüchen definiert sind.

[0019] Das erfindungsgemässe Knochen-Ersatzmaterial besteht aus Calciumphosphat, insbesondere aus dem biologisch abbaubaren Tri-Calciumphosphat. Es enthält im wesentlichen keine anderen Stoffe. Es hat die typische Struktur, die sich aus dem Schwartzwalder-Verfahren ergibt, es hat eine offene Porosität von mindestens 70 Vol.% und eine Festigkeit, die als Bruchlast mit einem Prüfstempel mit einem Durchmesser von 20mm ermittelt wird und die mindestens 550 N beträgt.

[0020] Das erfindungsgemässe Knochen-Ersatzmaterial wird erzeugt durch ein Schwartzwalder-Verfahren, das insbesondere im Hinblick auf eine Reduktion der Rissbildung bei der Wärmebehandlung weiterentwickelt wurde. Für diese Weiterentwicklung zeigen sich im wesentlichen zwei Ansätze, die vorteilhafterweise kombiniert angewendet werden.

[0021] Einerseits wird die Festigkeit des Schaummaterials erhöht, wenn das Keramikmaterial in einer vollständig kristallinen und phasenreinen Form (mindestens 98%) eingesetzt wird und die Sinterung der Schaumstruktur derart gesteuert wird, dass die Kristallstruktur des eingesetzten Materials erhalten bleibt. Dies wird beispielsweise erreicht durch eine Vorsinterung des zu verwendenden Materials bei einer durch die gewünschte Kristallstruktur vorgegebenen Vorsintertemperatur und eine Sinterung der Schaumstruktur bei einer Temperatur, die niedriger ist als die Vorsintertemperatur und bei der die Kristallstruktur stabil ist. Durch diese Massnahme ergibt sich bei der Sinterung des Keramikmaterials ein Minimum an Strukturumwandlungen und ein Minimum von durch Strukturumwandlungen bedingter Rissbildung.

[0022] Andererseits wird die Festigkeit des Schaummaterials erhöht, wenn das Schwartzwalder-Verfahren unter Verwendung desselben Keramikmaterials im wesentlichen zwei mal nacheinander durchgeführt wird, wobei beim zweiten Mal nicht mehr der Kunststoffschäum, der vom Keramikmaterial verschiedene thermische Eigenschaften hat, als Gerüst dient sondern bereits ein gleiches Keramikmaterial. Bei der zweiten Sinterung treten dadurch weniger Spannungen auf als bei der ersten und zudem kann der zweite Materialauftrag eine Reparatur von Spannungsrissen aus der ersten Sinterung bewirken.

[0023] Es zeigt sich, dass ein Einsatz von vollständig kristallinem und phasenreinem Keramikmaterial bei einem einzigen Verfahrensdurchgang ähnliche Festigkeiten ergibt wie ein Einsatz von nur mehrheitlich kristallinem Keramikmaterial bei einem zweimaligen Verfahrensdurchgang. Der Einsatz von mindestens mehrheitlich kristallinem Keramikmaterial führt zu einer feinkristallinen, zerklüfteten Sinterstruktur, die das Anhaften

von Zellen und nativem Gewebe begünstigt, was einen weiteren Vorteil des erfindungsgemässen Knochen-Ersatzmaterials darstellt. Der Einsatz von mehrheitlich amorphem Material empfiehlt sich nicht, denn er führt zu einer bedeutend gröberen Sinterstruktur und zu einer völlig ungenügenden Festigkeit. Ferner ist bei der Verwendung von mehrheitlich amorphem Material eine sehr viel grössere Schwindung bei der Sinterung zu beobachten als dies bei Verwendung von mindestens mehrheitlich kristallinem Material der Fall ist.

[0024] Das Verfahren zur Herstellung des erfindungsgemässen Knochen-Ersatzmaterials weist also alle Schritte des Schwartzwalder-Verfahrens auf. Dabei wird ein mehrheitlich (>70%) bis vollständig (>98%) kristallines und phasenreines Keramikmaterial eingesetzt und die Sintertemperatur auf eine Beibehaltung der Kristallstruktur des Ausgangsmaterials ausgerichtet und wird insbesondere bei Verwendung von nur mehrheitlich kristallinem Material der nach dem Schwartzwalder-Verfahren hergestellte Calciumphosphat-Schaum zusätzlich ein zweites Mal mit im wesentlichen demselben Material beschlickert, getrocknet und gesintert.

[0025] Die geforderte Festigkeit wird erreicht durch Verwendung von mehrheitlich bis vollständig kristallinem Keramikmaterial und zweimaliger Durchführung des Schwartzwalder-Verfahrens oder durch Verwendung von vollständig kristallinem und phasenreinem Keramikmaterial und einmaliger Durchführung des Schwartzwalder-Verfahrens. Dabei ist es weiter vorteilhaft, insbesondere bei der Variante mit nur einem Durchgang, als Ausgangsprodukt ein Gemisch von Keramikpartikeln zweier Grössenordnungen zu verwenden, beispielsweise 20-40 Gewichtsteile von Partikeln mit $d_{50} = 1-5\mu\text{m}$ und 80-60 Gewichtsteile von Partikeln mit $d_{50} = 7-15\mu\text{m}$.

[0026] Bei zweifacher Durchführung des Schwartzwalder-Verfahrens wird für die zweite Beschlickerung ein Schlicker verwendet, der wiederum ein mindestens teilweise kristallines (vorgesintertes) Calciumphosphat enthält, vorteilhafterweise dasselbe Calciumphosphat wie der erste Schlicker. Dabei enthält der zweite Schlicker weniger Keramikmaterial als der erste Schlicker. Gegebenenfalls kann die Zweitbeschlickerung auch wiederholt werden, das heisst kann eine Drittbeschlickerung mit einer dritten Trocknung und Sinterung durchgeführt werden.

[0027] Da der in der Zweitbeschlickerung zu bearbeitende Schaum nicht wie der ursprünglich eingesetzte Kunststoffschäum elastisch verformbar ist, kann der Schlicker nach der zweiten Beschlickerung nicht mehr durch Zusammenpressen und Entlasten eingebracht und kann überflüssiger Schlicker nicht mehr durch Auspressen entfernt werden. Der Schlicker wird statt dessen aktiv durch den Schaum gesaugt.

[0028] Es zeigt sich, dass ein zweimal beschlickerter Calciumphosphat-Schaum um ca. 30 bis 50% mehr Festigkeit aufweist als derselbe Calciumphosphatschaum vor der Zweitbeschlickerung, während der Volumen-

teil der Poren um 5 bis 15% reduziert ist. Die Festigkeitszunahme ist bedingt durch die Vergrösserung der Strebenquerschnitte im Schaum und vermutlich auch durch ein Ausfüllen oder Verschiessen von Rissen in den bei der ersten Beschlickerung erstellten Streben. Dadurch dass die in der ersten und in der zweiten Beschlickerung entstehenden Schichten im wesentlichen aus denselben Materialien bestehen, sind die Spannungen, die bei der zweiten thermischen Behandlung entstehen, bedeutend kleiner als bei der ersten thermischen Behandlung, so dass auch weniger oder keine neuen Spannungsrisse in den Streben entstehen. Die zweimalige Beschlickerung macht es weniger wichtig, bei der ersten Beschlickerung so viel Keramikmaterial wie möglich aufzubringen, was Raum für andere Kriterien bei der Schlickerherstellung ergibt und durch kleinere Schichtdicken die Rissbildung schon bei der ersten Beschlickerung reduzieren kann.

[0029] Die Festigkeit von nach dem Schwarzwälder-Verfahren hergestellten Schaumkeramiken lässt sich nicht wie für kompakte Materialien durch eine Drei- oder Vierpunktbiegeprüfung eines definierten Probekörpers ermitteln. Die Festigkeit von Schaumkeramiken kann mit Hilfe entsprechender mathematischer Modelle und räumlichen Abmessungen der Schaumstruktur aus der Festigkeit des entsprechenden kompakten Materials abgeleitet werden. Solche Methoden sind aufwendig und ungeeignet. Aus diesem Grunde wird die Festigkeit üblicherweise mit einem einfachen Prüfverfahren ermittelt, das sich gut für Vergleichsuntersuchungen eignet. In diesem Prüfverfahren wird ein Prüfstempel mit einem definierten Durchmesser in die Schaumkeramik eingedrückt und die Kraft-Weg-Kurve wird aufgezeichnet. Die zur Zerstörung der Struktur benötigte Kraft wird als Mass für die Festigkeit angenommen. Sie wird als Bruchlast in der Einheit N angegeben und als Mittelwert aus einem Los von zehn Proben ermittelt. Durch den Stempleindruck ist die Prüfung definierter Probenbereiche möglich, ohne dass der für Schaumkeramik typische Festigkeitsgradient in den Randzonen in das Ergebnis eingeht.

[0030] Für die Bestimmung der Festigkeit der erfindungsgemässen Knochen-Ersatzmaterialien wird eine übliche Prüfmaschine (z.B. der Firma Instron) und ein Prüfstempel mit einem Durchmesser von 20mm verwendet. Jeder Prüfkörper soll quer zur Bruchlast mindestens 40 x 40 mm messen und mindestens 10 mm dick sein.

[0031] Als Bruchlast wird der erste Peak der Kraft-Weg-Kurve verwendet. Dieser ist bedingt durch das Einbrechen der obersten Stegeebene. Alle weiteren Peaks, die der Zerstörung innerer Probenbereiche zuzuordnen sind, werden überlagert von Verdichtungsvorgängen und liefern keine verwertbaren Aussagen für die Festigkeit.

[0032] Die Höhe der gemessenen Bruchlast ist auf der Seite des Prüfkörpers abhängig vom Keramikmaterial, von der Porosität, von der Qualität der Schaum-

struktur (Gleichmässigkeit der Stege, Risse etc.) und auf der Seite der Prüfmaschine von der Fläche des Prüfstempels und der Geschwindigkeit der Krafterhöhung. **[0033]** Das erfindungsgemässe Verfahren und die durch das erfindungsgemässe Verfahren hergestellten Calciumphosphat-Schäume werden anhand der folgenden Figuren im Detail beschrieben. Dabei zeigen:

Figur 1 ein idealisiertes Detail aus der Struktur eines retikulierten Kunststoffschäumens oder einer daraus hergestellten Schaumkeramik;

Figur 2 einen schematischen Schnitt durch eine Strebe einer Schaumkeramik, die durch zweimaligen Durchgang durch das Schwarzwälder-Verfahren hergestellt wurde;

Figuren 3 und 4 zwei vergrösserte Schnitte durch ein Knochen-Ersatzmaterial, das durch zweimaligen Durchgang durch das Schwarzwälder-Verfahren hergestellt wurde.

[0034] Figur 1 zeigt eine Gerüstzelle 1 eines retikulierten Kunststoffschäumens oder einer daraus hergestellten Schaumkeramik. Die dargestellte Gerüstzelle ist stark idealisiert und basiert auf der Annahme dass alle Zellen des Schäumens genau gleich gross sind. Jede Zelle hat dann die Form eines Pentagondodekaeders und grenzt mit jeder ihrer Flächen an eine benachbarte Zelle an. Die Streben 2 bilden die Kanten des Pentagondodekaeders. Die Poren sind die Innenräume und sind über die Pentagondodekaeder-Flächen dreidimensional miteinander vernetzt.

[0035] Figur 2 ist ein Querschnitt durch eine Strebe 2 einer durch zweimaligen Durchgang durch das Schwarzwälder-Verfahren hergestellten Schaumkeramik. Dieser Querschnitt ist aus geometrischen Gründen etwa dreieckig mit konkaven Seiten und schliesst einen Hohlraum 3 mit im wesentlichen derselben Form ein. Der Hohlraum nimmt die Position einer Strebe des ursprünglich eingesetzten und dann ausgebrannten Kunststoffschäumens ein. Die Strebe besteht aus einer inneren Keramikschicht, die von der ersten Beschlickerung stammt, und einer äusseren Schicht, die von der zweiten Beschlickerung stammt. Die beiden Schichten bestehen aus im wesentlichen demselben Calciumphosphat-Material, können sich aber in der Partikelgrösse unterscheiden.

[0036] Figuren 3 und 4 zeigen zwei Stellen eines mikroskopischen Schnittes durch eine Schaumkeramik aus Tri-Calciumphosphat, die durch zweimaligen Durchgang durch das Schwarzwälder-Verfahren hergestellt ist. Die zerklüftete Sinterstruktur ist in den beiden Figuren klar sichtbar und auch die Zweischichtigkeit

der Streben, wobei die Sinterstruktur der inneren Schicht durch die zweimalige Sinterung sichtbar gröber ist als die Struktur der nur einmal gesinterten, äusseren Schicht. Die dargestellte Struktur stammt von einem Keramikschäum, der aus einer Mischung von Partikeln mit Partikelgrössen von 7µm und 3µm (Mischverhältnis 30:70) aus reinem α-Tri-Calciumphosphat (vorgesintert bei ca. 1300 bis 1350°C) hergestellt ist.

[0037] Zur Herstellung einer Schaumkeramik aus Tri-Calciumphosphat, die sich als abbaubares Knochen-Ersatzmaterial eignet, wird ein retikulierter Kunststoffschäum, beispielsweise aus Polyurethan mit einer offenen Porosität von 45 bis 90 ppi verwendet, was einer Zellweite von ca. 300 bis 1100µm entspricht. Das Tri-Calciumphosphat wird mehrheitlich oder vollständig in einem vorgesinterten Zustand (kristallin und phasenrein) und mit einer Partikelgrösse von ca. 1 bis 20µm eingesetzt. Das Keramikpulver wird zusammen mit einem in der Keramikbranche üblichen, für die Anwendung auf dem medizinischen Bereich unbedenklichen Dispergiernittel (z.B. auf der Basis einer Carbonsäurezubereitung), in alkalischem Wasser dispergiert. Danach wird ein ebenfalls in der Keramikbranche übliches und für die medizinische Anwendung unbedenkliches Bindemittel (z.B. ein teilverseifter Polyvinylalkohol) zur Dispersion zugegeben. Der so zubereitete Schlicker hat einen Feststoffgehalt von 40 bis 70% (vorzugsweise zwischen 60 und 70%), wovon das Bindemittel 1 bis 10% ausmacht. Der Schlicker hat einen pH-Wert von ca. 10 bis 12 und eine Viskosität von ca. 1,5 bis 2,5 Ncm.

[0038] Der Polyurethanschaum wird beschlickert durch mehrmaliges Aufsaugenlassen und Auspressen des Schlickers. Der beschlickerte Schaum wird bei einer Temperatur von weniger als 100° getrocknet, bis er ein konstant bleibendes Gewicht hat. Dann wird er langsam auf 1000 bis 1300°C (Sintertemperatur niedriger als Vorsintertemperatur) erhitzt und für 20 Stunden gesintert. Der resultierende Schaum hat eine Porosität von ca. 80 bis 90%.

[0039] Der Schlicker für die zweite Beschlickerung wird im wesentlichen gleich hergestellt wie der Schlicker für die erste Beschlickerung, weist aber einen kleineren Anteil an Feststoffen von weniger als 40% (z.B. zwischen 30 und 40%) auf. Der zweite Schlicker wird mehrere Male aktiv durch die vorfabrizierte Schaumkeramik gesaugt. Trocknung und Sinterung werden im wesentlichen gleich durchgeführt wie das erste Mal. Die resultierende Schaumkeramik hat eine Porosität von ca. 70 bis 80%.

Beispiel 1

[0040] Für die Herstellung von phasenreinem α-Tri-Calciumphosphat wurde amorphes Tri-Calciumphosphat bei 1300 bis 1350°C vorgesintert. Das vorgesinterte Keramikmaterial wurde gemahlen und in Siebfractionen aufgeteilt. Zu ausgesiebten Partikeln mit einer Partikelgrösse d_{50} von 7,3µm wurden 2 Gewichtsteile Di-

spergiermittel zugegeben und 50 Gewichtsteile amoni-alkalisches Wasser (pH 11). Die Aufschlämmung wurde während einer Stunde in einer Kugelmühle deagglomeriert. Dann wurden die Mahlkugeln durch Sieben abgetrennt und dem Schlicker unter ständigem Weiterführen eine Lösung von 2 Gewichtsteilen Bindemittel in ca. 4 Gewichtsteilen Wasser und einige Tropfen Entschäumer zugefügt. Mit dem so hergestellten Schlicker wurden aus einem retikulierten Polyurethanschaum mit einer Porosität von 80 ppi geschnittene Stücke mit Abmessungen von 50x50x10mm behandelt. Überschüssiger Schlicker wurde durch Passieren zwischen zwei Pressrollen ausgepresst. Dann wurden die beschlickerten Stücke während 2 Stunden bei 80° C getrocknet und anschliessend langsam auf 1250°C erhitzt, während 20 Stunden auf dieser Temperatur gesintert und dann langsam ausgekühlt. Die Schaumkeramik-Stücke hatten ein Volumen, das gegenüber den Polyurethanschaum-Stücken um ca. 6% geschwunden war, ein Gewicht (Sintergewicht) von zwischen 5,6 und 6,6g und eine Porosität von 80 bis 88%.

[0041] Für die zweite Beschlickerung wurde nach demselben Verfahren, wie oben für den ersten Schlicker beschrieben, ein zweiter Schlicker hergestellt, wobei der Feststoffgehalt durch Zugabe von mehr Wasser auf 38% beschränkt wurde. Die Schaumkeramik-Stücke wurden in eine Nutsche gelegt und mit Schlicker begossen und dabei ständig abgesaugt. Dies wurde mehrmals wiederholt, wobei die Stücke jedesmal gedreht wurden. Dann wurden die Stücke wiederum getrocknet und gesintert. Die durch zweimalige Beschlickerung hergestellten Schaumkeramik-Stücke hatten ein Sintergewicht von zwischen 11,2 und 12,8 g und eine Porosität von 76 und 80%, wobei die Porenabmessungen immer noch deutlich über 100µm lagen.

[0042] Die nach der weiter oben beschriebenen Messmethode gemessene Kaltdruckfestigkeit (Bruchlast) betrug für die nach dem oben beschriebenen Vorgehen hergestellten Schaumkeramik-Stücke 660 N (Mittelwert von 10 Einzelmessungen).

Beispiel 2

[0043] Ausgesiebte Partikel aus reinem α-Tri-Calciumphosphat mit Partikelgrössen d_{50} von einerseits 12µm und andererseits 2µm wurden im Gewichtsverhältnis von 30:70 gemischt. Aus dieser Mischung wurde wie im Beispiel 1 beschrieben ein Schlicker hergestellt und mit dem Schlicker ein retikulierter Polyurethanschaum beschlickert.

[0044] Dieser wurde wie im Beispiel 1 beschreiben getrocknet und gesintert. Der in diesem einmaligen Durchgang durch das Schwarzwälder-Verfahren erzeugte Keramikschäum wies eine Festigkeit bzw. Bruchlast von 610 N auf.

Beispiel 3 (Vergleich)

[0045] Eine Mischung von vorgesintertem Tri-Calziumphosphat (reine α -Phase, d_{50} : 7 μm , Gewichtsanteil 60%) und nicht vorgesintertem Tri-Calziumphosphat (amorph, d_{50} : 1 μm , Gewichtsanteil 40%) wurde wie im Beispiel 2 beschrieben in einem einmaligen Durchgang durch das Schwarzwälder-Verfahren zu einer Schaumkeramik verarbeitet. Diese wies eine Festigkeit bzw. Bruchlast von 300 N auf.

Patentansprüche

1. Knochen-Ersatzmaterial, das im wesentlichen aus Calciumphosphat besteht, das im wesentlichen nach einem Schwarzwälder-Verfahren ausgehend von einem retikulierten Kunststoffschäum mit einer Porosität im Bereiche von 45 bis 90 ppi hergestellt ist und das eine entsprechende Struktur mit einer offenen Porosität von mindestens 70 Vol.% aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material eine als Bruchlast mit einem Stempel von 20mm Durchmesser ermittelte Festigkeit von mindestens 550 N aufweist.
2. Knochen-Ersatzmaterial nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** es vollständig kristallin und phasenrein ist.
3. Knochen-Ersatzmaterial nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** es Streben (2) mit einer mindestens zweischichtigen Struktur aufweist.
4. Knochen-Ersatzmaterial nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** es vollständig kristallin und phasenrein ist und dass es Streben mit einer zweischichtigen Struktur aufweist.
5. Knochen-Ersatzmaterial nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** es aus Calcium-Metaphosphat ($\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$), Di-Calziumphosphat ($\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$), Tri-Calziumphosphat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), Hydroxyapatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$) oder Tetra-Calziumphosphat ($\text{Ca}_4(\text{PO}_4)_2\text{O}$) besteht.
6. Knochen-Ersatzmaterial nach einem der Ansprüche 2 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** es aus α Tri-Calziumphosphat besteht.
7. Verfahren zur Herstellung eines offenporigen Knochen-Ersatzmaterials, wobei ein retikulierter Schaum aus einem Kunststoff mit einem ersten Schlicker aus einem Calciumphosphat-Pulver beschlickert, der beschlickerte Schaum getrocknet, der Kunststoff ausgebrannt und das verbleibende Calciumphosphat gesintert wird, wobei eine offenporige Schaumkeramik entsteht, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Erhöhung der Festigkeit der Schaumkeramik das Calciumphosphat-Pulver aus einem vollständig kristallinen und phasenreinen Calciumphosphat besteht oder dass das Pulver aus einem mindestens mehrheitlich aus kristallinem und phasenreinem Calciumphosphat besteht und die offenporige Schaumkeramik mit einem zweiten Schlicker aus einem zweiten Pulver desselben Calciumphosphats beschlickert, wiederum getrocknet und nochmals gesintert wird, wobei die Sintertemperatur in allen Fällen derart eingestellt wird, dass während der Sinterung keine Phasenumwandlung ausgelöst wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Calciumphosphat Calcium-Metaphosphat ($\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$), Di-Calziumphosphat ($\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$), Tri-Calziumphosphat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), Hydroxyapatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$) oder Tetra-Calziumphosphat ($\text{Ca}_4(\text{PO}_4)_2\text{O}$) ist.
9. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Calciumphosphat α Tri-Calziumphosphat ist, das durch Sinterung von amorphem Tri-Calziumphosphat durch Sinterung bei 1300-1350° hergestellt wird, und dass die Sintertemperatur zwischen 1000 und 1300°C eingestellt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Schlicker einen kleineren Festkörperanteil aufweist als der erste Schlicker.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Schlicker einen Festkörperanteil von 60 bis 70% und der zweite Schlicker einen Festkörperanteil von 30 bis 40% aufweist.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** für die Herstellung des ersten und des zweiten Schlickers ein Calciumphosphat-Pulver mit einer Partikelgröße von 1 bis 20 μm verwendet wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Calciumphosphat-Pulver einerseits Partikel einer Partikelgröße von 1 - 5 μm und andererseits Partikel einer Partikelgröße von 7 - 15 μm enthält.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Beschlickerung mit Trocknung und Sinterung mindestens einmal wiederholt wird.
15. Verwendung eines Knochen-Ersatzmaterials nach einem der Ansprüche 1 bis 6 als Formstück zur Re-

paratur von Knochendefekten in belasteten oder teilbelasteten Bereichen.

16. Verwendung eines Knochen-Ersatzmaterials nach einem der Ansprüche 1 bis 6 zur Herstellung von Formstücken mittels mechanischer Bearbeitung. 5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

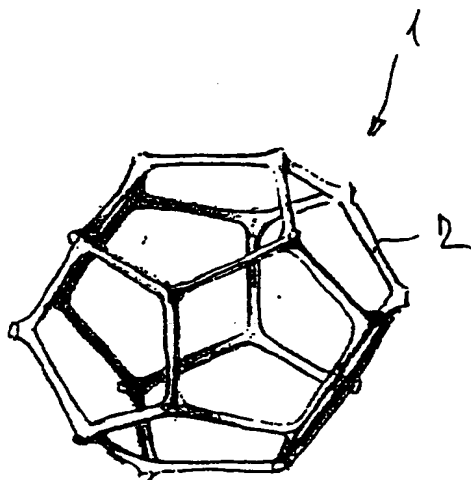


Fig. 1

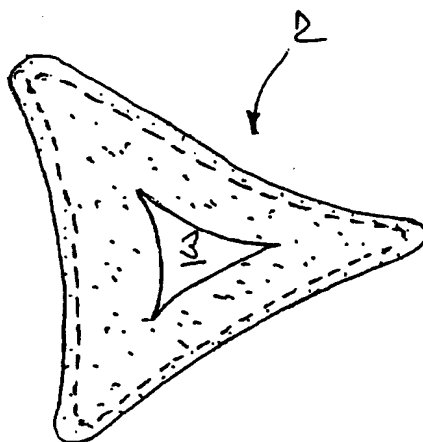


Fig. 2

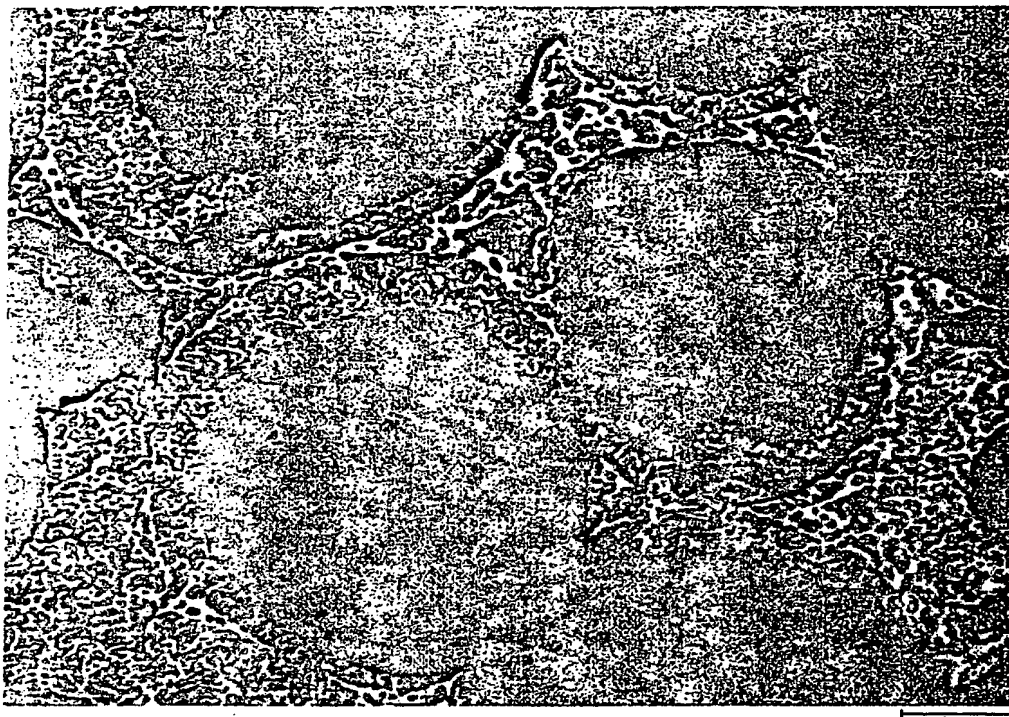


Fig. 3

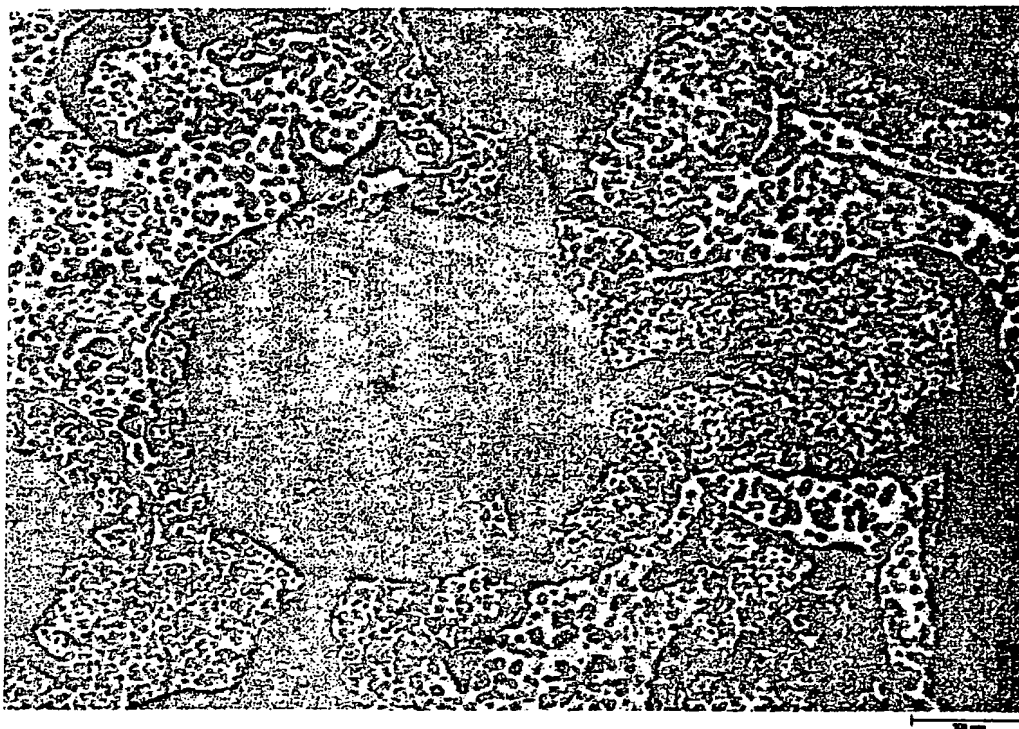


Fig. 4



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER TEILRECHERCHENBERICHT

der nach Regel 45 des Europäischen Patent-
Übereinkommens für das weitere Verfahren als
europäischer Recherchenbericht gilt

Nummer der Anmeldung

EP 03 40 5002

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X,D	WO 99 16479 A (METAGEN LLC) 8. April 1999 (1999-04-08) * Seite 3, Zeile 1 - Seite 5, Zeile 7 * * Seite 5, Zeile 21 - Seite 7, Zeile 27 * * Beispiel 4 *	1-5	A61L27/12 A61L27/56
A,D	SAGGIO-WOYANSKY J ET AL: "PROCESSING OF POROUS CERAMICS" AMERICAN CERAMIC SOCIETY BULLETIN, AMERICAN CERAMIC SOCIETY. COLUMBUS, US, Bd. 71, Nr. 11, 1. November 1992 (1992-11-01), Seiten 1674-1682, XP000349841 ISSN: 0002-7812 * Seite 1675, linke Spalte, Absatz 1 - Seite 1676, rechte Spalte, Absatz 4 * * Seite 1680, linke Spalte, Absatz 1 - Seite 1681, linke Spalte, Absatz 1 *	1-16	
A	GB 2 078 696 A (MITSUBISHI MINING & CEMENT CO) 13. Januar 1982 (1982-01-13) * Seite 1, rechte Spalte, Zeile 92 - Seite 2, rechte Spalte, Zeile 124 *	1-16	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
			A61L
<p>UNVOLLSTÄNDIGE RECHERCHE</p> <p>Die Recherchenabteilung ist der Auffassung, daß ein oder mehrere Ansprüche, den Vorschriften des EPU in einem solchen Umfang nicht entspricht bzw. entsprechen, daß sinnvolle Ermittlungen über den Stand der Technik für diese Ansprüche nicht, bzw. nur teilweise, möglich sind.</p> <p>Vollständig recherchierte Patentansprüche:</p> <p>Unvollständig recherchierte Patentansprüche:</p> <p>Nicht recherchierte Patentansprüche:</p> <p>Grund für die Beschränkung der Recherche:</p> <p>Siehe Ergänzungsblatt C</p>			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	
DEN HAAG		27. Mai 2003	
Prüfer		Heck, G	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTEN			
<p>X: von besonderer Bedeutung allein betrachtet</p> <p>Y: von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie</p> <p>A: technologischer Hintergrund</p> <p>O: nichtschriftliche Offenbarung</p> <p>P: Zwischenliteratur</p>		<p>T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze</p> <p>E: älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>D: in der Anmeldung angeführtes Dokument</p> <p>L: aus anderen Gründen angeführtes Dokument</p> <p>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>	

EP 03 40 5002 (PCT/DE)



Europäisches
Patentamt

UNVOLLSTÄNDIGE RECHERCHE
ERGÄNZUNGSBLATT C

Nummer der Anmeldung
EP 03 40 5002

Obwohl Anspruch 15 sich auf ein Verfahren zur Behandlung des menschlichen/tierischen Körpers beziehen (Artikel 52(4) EPÜ), wurde die Recherche durchgeführt und gründete sich auf die angeführten Wirkungen der Zusammensetzung.

Vollständig recherchierte Ansprüche:
1-14, 16

Unvollständig recherchierte Ansprüche:
15

Grund für die Beschränkung der Recherche (nicht patentfähige Erfindung(en)):

Artikel 52 (4) EPÜ - Verfahren zur chirurgischen Behandlung des menschlichen oder tierischen Körpers



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER
TEILRECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 03 40 5002

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.CL7)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	
A, D	US 3 090 094 A (KARL SCHWARTZWALDER ET AL) 21. Mai 1963 (1963-05-21) * Spalte 1, Zeile 10 - Spalte 3, Zeile 30 *	1-16	
A	US 6 235 225 B1 (OKADA KOHJI ET AL) 22. Mai 2001 (2001-05-22) * Spalte 2, Zeile 19 - Zeile 67 * * Ansprüche 1-7 *	1-16	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.CL7)

EPO FORM 1503 03.02 (P01C12)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 03 40 5002

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

27-05-2003

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9916479	A	08-04-1999	US 6136029 A	24-10-2000
			AU 736513 B2	26-07-2001
			AU 9594198 A	23-04-1999
			CA 2305431 A1	08-04-1999
			CN 1290181 T	04-04-2001
			EP 1024840 A1	09-08-2000
			JP 2001518322 T	16-10-2001
			WO 9916479 A1	08-04-1999
GB 2078696	A	13-01-1982	JP 1056777 B	01-12-1989
			JP 1635901 C	31-01-1992
			JP 56166843 A	22-12-1981
			DE 3121182 A1	04-02-1982
			NL 8102354 A , C	16-12-1981
US 3090094	A	21-05-1963	KEINE	
US 6235225	B1	22-05-2001	JP 2001046490 A	20-02-2001

EPO FORM P/461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82